

0150046

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-255231

(43)Date of publication of application : 25.09.1998

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 09-053065

(71)Applicant : TDK CORP

(22)Date of filing : 07.03.1997

(72)Inventor : NOGUCHI KIYOSHI

OIKE TARO

ARAKI SATORU

OTA MANABU

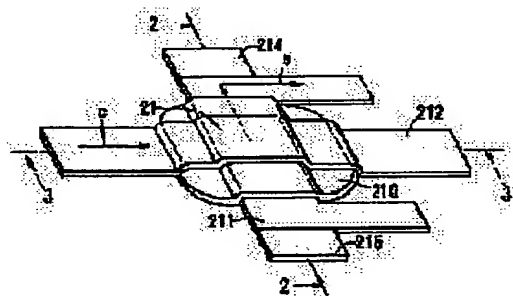
SANO MASASHI

## (54) MAGNETO-RESISTIVE ELEMENT

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magneto-resistive element, where a sufficient amount of tunnel current can be applied to a ferromagnetic tunnel junction, and high rate of change of MR (magneto-resistive) can be obtained.

SOLUTION: The element has a ferromagnetic tunnel junction 21, and domain control films 214 and 215. The ferromagnetic tunnel junction 21 includes an insulating film 210, a first ferromagnetic film 211, and a second ferromagnetic film 212. The first ferromagnetic film 211 and the second ferromagnetic film 212 are laminated with the insulating layer 210 therebetween. The domain control films 214 and 215 are provided adjacent to both ends of the first ferromagnetic film 211.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.12.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

01-F-046  
(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-255231

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平9-53065

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月7日

(71) 出願人 000003067

ティーディーケー株式会社

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72) 発明者 野口 潔

東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(72) 発明者 大池 太郎

東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(72) 発明者 荒木 悟

東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(74) 代理人 弁理士 阿部 美次郎

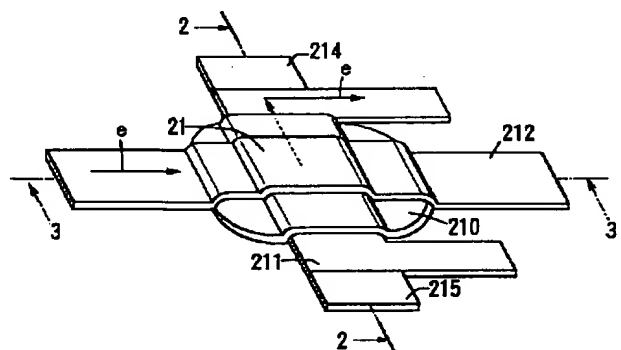
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子

(57) 【要約】

【課題】 強磁性トンネル接合部に十分な大きさのトンネル電流を流すことができ、高いMR変化率を得ることのできる磁気抵抗効果素子を提供する。

【解決手段】 強磁性トンネル接合部21と、磁区制御膜214、215とを有する。強磁性トンネル接合部21は、絶縁膜210と、第1の強磁性膜211と、第2の強磁性膜212とを含む。第1の強磁性膜211と第2の強磁性膜212とが絶縁膜210を介して積層されている。磁区制御膜214、215は、第1の強磁性膜211の両端部に隣接して設けられている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 強磁性トンネル接合部と、磁区制御膜とを有する磁気抵抗効果素子であって、

前記強磁性トンネル接合部は、絶縁膜と、第1の強磁性膜と、第2の強磁性膜とを含み、前記第1の強磁性膜と前記第2の強磁性膜とが前記絶縁膜を介して積層されており、

前記磁区制御膜は、前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜の何れか一方の両端部に、隣接して設けられている磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 請求項1に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記磁区制御膜は、硬質強磁性膜である磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 請求項2に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記硬質強磁性膜は、Co合金である磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 請求項3に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記Co合金は、CoPt、CoPtCr、CoPtTa、CoCrTaまたはCoPtTaCrから選択された少なくとも一種でなる磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 請求項1に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記磁区制御膜は、反強磁性膜である磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 請求項5に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記反強磁性膜は、金属系反強磁性材料または酸化物系反強磁性材料の何れかでなる磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 請求項6に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記金属系反強磁性材料は、Mn合金である磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 請求項7に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記Mn合金は、FeMn、NiMn、PtMn、RuMn、RhMn、IrMn、PdMnまたはそれらの合金から選択された少なくとも一種でなる磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 請求項6に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記酸化物系反強磁性材料は、NiO、NiCoOまたはFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>から選択された少なくとも一種でなる磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 請求項1に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜の磁化方向と、前記第2の強磁性膜の磁化方向とは、外部印加磁界が零の場合に互いに平行でない磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 請求項10に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜の磁化方向と、前記第2の強磁性膜の磁化方向とは、互いに垂直である磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 請求項1に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜の磁化容易軸と、前記第2の強磁性膜の磁化容易軸とは、互いに平行でない磁気抵抗効果素子。

10 【請求項13】 請求項12に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜の磁化容易軸と、前記第2の強磁性膜の磁化容易軸とは互いに垂直である磁気抵抗効果素子。

【請求項14】 請求項1に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜のうち、何れか一方の強磁性膜の磁化容易軸が外部印加磁界と垂直であり、もう一方の強磁性膜の磁化容易軸が外部印加磁界と平行である磁気抵抗効果素子。

【請求項15】 請求項1乃至14の何れかに記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜のうち、前記磁区制御膜の設けられていない強磁性膜は、前記磁区制御膜の設けられている前記強磁性膜よりも高い保磁力を有する硬質強磁性膜である磁気抵抗効果素子。

【請求項16】 請求項14に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記磁区制御膜を備える強磁性膜の磁化容易軸が外部印加磁界方向と垂直である磁気抵抗効果素子。

【請求項17】 請求項1乃至16の何れかに記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜のうち、前記磁区制御膜の設けられていない強磁性膜は、磁化固定膜を有する磁気抵抗効果素子。

【請求項18】 請求項17に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記磁化固定膜は、硬質強磁性膜である磁気抵抗効果素子。

40 【請求項19】 請求項17に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記磁化固定膜は、反強磁性膜である磁気抵抗効果素子。

【請求項20】 請求項17に記載された磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜のうち、前記磁区制御膜を備える強磁性膜の磁化容易軸が外部印加磁界方向と垂直であり、前記磁化固定膜を備える強磁性膜の磁化容易軸が外部印加磁界方向と平行である磁気抵抗効果素子。

【請求項21】 請求項1乃至20の何れかに記載された磁気抵抗効果素子であって、前記強磁性トンネル接合部の前記絶縁膜によるバリアポテンシャルが0.5～3eVの範囲にある磁気抵抗効果素子。

【請求項22】 請求項21に記載された磁気抵抗効果素子であって、前記絶縁膜によるバリアポテンシャルは1.5～2.5eVの範囲にある磁気抵抗効果素子。

【請求項23】 請求項21に記載された磁気抵抗効果素子であって、前記第1の強磁性膜および前記第2の強磁性膜は、前記絶縁膜を介して、反強磁性的結合をしている磁気抵抗効果素子。

【請求項24】 請求項21に記載された磁気抵抗効果素子であって、前記絶縁膜は、成膜後に大気中において40～100℃で熱処理して形成した酸化アルミニウム膜である磁気抵抗効果素子。

【請求項25】 請求項21に記載された磁気抵抗効果素子であって、前記絶縁膜は、ダイヤモンド状炭素膜である磁気抵抗効果素子。

【請求項26】 請求項21に記載された磁気抵抗効果素子であって、前記強磁性トンネル接合部分の面積は10 $\mu\text{m}^2$ 以下である磁気抵抗効果素子。

【請求項27】 磁気抵抗効果素子を有する磁気ヘッドであって、前記磁気抵抗効果素子は、請求項1～26の何れかに記載されたものである磁気ヘッド。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、強磁性トンネル接合を感磁部に用いた磁気抵抗効果素子及びそれを用いた磁気ヘッドに関する。

#### 【0002】

【従来の技術】高密度磁気記録における磁気ヘッドとして、異方性磁気抵抗（以下AMRと称する）効果を用いた磁気抵抗効果型磁気ヘッド（以下MR磁気ヘッドと称する）が商品化されている。しかしながら、磁性膜にNiFe等のAMR効果膜を用いているため、磁気抵抗（MR）変化率が約2%、感度が0.5%/Oeと低い。このため、さらに高MR変化率、高感度なMR膜が望まれている。

【0003】このような要望に応える技術として、近年、巨大磁気抵抗効果（GMR効果）という新しい現象が見出され、従来のAMR効果より大きな磁気抵抗変化率が得られるということから、研究が進められている。その中でも、スピンバルブ（SV）膜を用いたGMR効

果が注目されている。スピンバルブ膜は、強磁性膜／非磁性金属膜／強磁性膜／反強磁性膜の膜構成からなる多層膜であり、2～5%/Oeの高感度な特性を示すため、次世代磁気ヘッドにおける再生素子として注目され、実用化研究が始められている。

【0004】一方、GMR効果とは別に、強磁性膜／絶縁膜／強磁性膜の接合構造を持ち、両強磁性膜の磁化の相対角度に依存してトンネル効果があらわれる強磁性トンネル効果という現象が見出され、この現象を利用した磁気抵抗効果素子の研究及び開発が進められている。強磁性トンネル効果膜は非常に高い磁場感度を有するため、10Gbit/inch<sup>2</sup>以上の超高密度磁気記録における再生磁気ヘッドとして可能性がある。S.Maekawa and V.Gafvert等は、IEEE Trans. Magn., MAG-18, 707(1982)において、磁性体／絶縁体／磁性体接合で両磁性膜の磁化の相対角度に依存してトンネル効果が現れることが期待されることを理論的、実験的に示した。

【0005】特開平4-42417号公報は、強磁性トンネル効果膜を有する磁気ヘッドを開示しており、従来のMR磁気ヘッドにくらべ、微小な漏洩磁束の変化を高感度、かつ、高分解能で検出できること、接合面積を狭めることにより、絶縁膜におけるピンホールの発生確率を小さくして、再生感度を一層向上させることができることなどを開示している。

【0006】また、特開平4-103014号公報は、磁性膜に反強磁性体からのバイアス磁界を印加する強磁性トンネル効果膜およびそれを用いた磁気ヘッドを開示している。

【0007】更に、T.Miyazaki及びN.Tezuka等は、J.Magn.Mater.139(1995)L231において、Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Feトンネル接合で室温においてMR変化率18%が得られたと報告している。また、M.Pomerantz, J.C.Sloczewski及びE.Spiller等は、Fe/a-Carbon/Fe膜について開示している。

【0008】しかしながら、これまで報告された強磁性トンネル接合には、磁気ヘッドとして利用するに当たり、種々の解決すべき課題が存する。例えば、特開平4-42417号などの公知文献では、強磁性トンネル効果膜を用いた磁気抵抗効果素子で微少な磁束変化を高感度に検出し、高い安定な出力を得るために、いくつかの手段を開示している。その一つとして、多層構造の磁気抵抗効果膜を形成する一対の磁性層のうち、媒体からの漏洩磁束により磁化方向が変化する磁性層は、磁化回転が一斉に起こるように異方性分散角度を小さくし、かつ、単磁区化することが必要であると示されている。具体的には、BNなどの中間層を磁性層中に挿入することにより単磁区化すると報告されている。

【0009】しかしながら、このようにして異方性分散角度の小さい膜を形成しても、それを数 $\mu\text{m}$ の大きさにパターンニングして、数十MHz以上の高周波磁場で動作さ

10

20

30

40

50

せると、微少パターン膜の端部で、マイクロなスピン方向の乱れが生じて、磁壁が形成されるため、単磁区構造が崩れ、バルクハウゼンノイズなどが生じるという問題がある。

【0010】従来のAMR磁気ヘッドやスピンバルブGMR磁気ヘッドにおいては、磁気抵抗効果膜の両端部に磁区制御膜を形成し、縦バイアスを加えることによりバルクハウゼンノイズを防止する方法が開示されている

(公知文献：米国特許5,018,037、特公平8-21166号公報)。これらの場合、磁区制御膜は感磁部全体の両端部領域に直接接触して形成される。これは、AMR磁気ヘッドやスピンバルブGMR磁気ヘッドにおいては、磁気抵抗効果素子の面と平行となる方向に電流を流して使用するため、磁区制御膜が感磁部の両端部と接触していても実用上問題を生じないことに基づく。

【0011】しかし、強磁性トンネル接合は、第1の強磁性膜、絶縁膜及び第2の強磁性膜を上下方向に積層してあって、積層方向にトンネル電流が流れることにより磁気抵抗変化が生じるものである。したがって、従来のように感磁部の端部全体に磁区制御用のバイアス磁性層が接触してしまうと、絶縁層によって分離されている上下の強磁性層が電氣的に短絡してしまい、トンネル電流が流れなくなるため、磁気抵抗変化が得られなくなる。

【0012】なお、本発明における強磁性トンネル接合は上記の強磁性トンネル効果膜と同一のものである。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、強磁性トンネル接合部に十分な大きさのトンネル電流を流すことができ、高いMR変化率を得ることのできる磁気抵抗効果素子を提供することである。

【0014】本発明のもうひとつの課題は、歪みのない良好な出力波形が得られる磁気抵抗効果素子を提供することである。

【0015】本発明のさらにもう一つの課題は、ノイズのない安定した出力が得られる磁気抵抗効果素子を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するため、本発明に係る磁気抵抗効果素子は、強磁性トンネル接合部と、磁区制御膜とを有する。前記強磁性トンネル接合部は、絶縁膜と、第1の強磁性膜と、第2の強磁性膜とを含み、前記第1の強磁性膜と前記第2の強磁性膜とが前記絶縁膜を介して積層されている。前記磁区制御膜は、第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜の何れか一方の両端部に、隣接して設けられている。

【0017】上述のように、磁区制御膜が第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜の何れか一方の両端部に、隣接して設けられているから、第1の強磁性膜及び第2の強磁性膜の間に電氣的短絡の生じる余地はない。したがって、強磁性トンネル接合部に十分な大きさのトンネル

電流を流すことができる。このため、大きな磁気抵抗変化率が得られる。

【0018】しかも、磁区制御膜により、磁区制御膜の備えられた強磁性膜を単一磁区状態にすることができ、このため、出力波形歪みの原因となるバルクハウゼンノイズの発生を抑えることができ、ノイズのない安定した出力が得られる。

【0019】好ましくは、前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜のうち、前記磁区制御膜の設けられていない強磁性膜は、磁化固定膜を有する。

【0020】この構造によれば、第1の強磁性膜及び第2の強磁性膜の何れか一方を磁化固定膜を有するピン止め強磁性膜とし、他方を自由強磁性膜として動作させ、自由強磁性膜の磁化の動きのみで、第1の強磁性膜の磁化の向きと第2の強磁性膜の磁化の向きに関して、相対角度変化を生じさせることができる。この場合、外部磁場に対して、自由強磁性膜の磁化容易軸が垂直となり、ピン止め強磁性膜の磁化容易軸が平行となるように設定するのがよい。こうすることにより、外部磁界が零の場合に自由強磁性膜の磁化の方向と、ピン止め強磁性膜の磁化の方向とが垂直になるため、対称性の良好な出力波形が得られる。しかも、自由強磁性膜の磁化の方向が、外部磁場により磁化回転モードで変化するため、高い感度が得られると共に、スムーズな磁化反転が行なわれ、磁壁移動に伴うバルクハウゼンノイズの発生を低減できる。

【0021】

【発明の実施の形態】図1は本発明に係る磁気抵抗効果素子を模式的に示す斜視図、図2は図1の2-2線に沿った断面図、図3は図1の3-3線に沿った断面図である。図示するように、本発明に係る磁気抵抗効果素子は、強磁性トンネル接合部21と、磁区制御膜214、215とを有する。強磁性トンネル接合部21は、絶縁膜210と、第1の強磁性膜211と、第2の強磁性膜212を含む。第1の強磁性膜211及び第2の強磁性膜212は絶縁膜210の両側に積層されている。これらは適当な絶縁支持基板4上に積層されている。磁区制御膜214、215は、第1の強磁性膜211の両端部に隣接して設けられている。この実施例では、第1の強磁性膜211を微少外部磁場に対して磁化方向が自由に変化する自由強磁性膜とし、第2の強磁性膜212を微少外部磁場に対して磁化方向が動かないピン止め強磁性膜とした場合について説明する。

【0022】<磁区制御>この種の磁気抵抗効果素子において、強磁性トンネル接合部21は、微細な矩形状パターンとして形成される。かかるパターンでは、パターン端部に磁氣的な不安定部分が発生し、磁区が形成されてしまうのを回避することができない。このため、磁壁移動モードでの磁化反転が部分的に発生し、ノイズが発生する。そこで、第1の強磁性膜211の両端部に、磁

区制御膜214、215を形成し、第1の強磁性膜211を単一磁区状態に保持する。実施例に示された磁区制御膜214、215は磁気バイアス膜である。

【0023】図4は図1～図3に示した磁気抵抗効果素子のトンネル接合部の動作を説明する図である。印加磁場Hが零のとき、第2の強磁性膜212の磁化の向きM2は、印加されるべき磁場Hに対して平行となる方向にピン止めされているものとする。第1の強磁性膜211の磁化の向きM1は、磁区制御膜214、215により、印加されるべき磁場Hと垂直となる方向に制御されている。この状態で、磁気ディスク等の磁気記録媒体から磁場Hが印加された場合、ピン止めされている第2の強磁性膜212の磁化の向きM2は変化しないが、第1の強磁性膜211の磁化の向きM1は、例えば角度 $\theta$ だけ変化する。これにより磁気抵抗効果が生じる。

【0024】このような磁区制御膜214、215が第1の強磁性膜211の両端部に隣接して設けられているから、第1の強磁性膜211及び第2の強磁性膜212の間に電氣的短絡の生じる余地はない。したがって、強磁性トンネル接合部21に十分な大きさのトンネル電流を流すことができる。このため、大きな磁気抵抗変化率が得られる。

【0025】しかも、磁区制御膜214、215の備えられた第1の強磁性膜211を、単一磁区状態にすることができる。このため、出力波形歪みの原因となるバルクハウゼンノイズの発生を抑えることができ、ノイズのない安定した出力が得られる。

【0026】磁区制御膜214、215としては、硬質強磁性膜または反強磁性膜を用いることができる。磁区制御膜214、215を構成する硬質強磁性膜としては、外部擾乱磁界による影響を防ぐために、1kOe以上の保磁力を有する強磁性膜が望ましい。硬質強磁性膜の膜厚、材料は特に限定されるものではないが、所定の大きさのバイアス磁界を発生させるためには、硬質強磁性膜の膜厚 $t$ と残留磁束密度 $B_r$ の積である $t \cdot B_r$ が所定の大きさである必要がある。このため、材料としてはCo系合金が望ましく、中でもCoPt、CoPtCr、CoPtTa、CoCrTa、CoPtTaCrなどが薄い膜厚でも高い保磁力が得られるため、好ましい。

【0027】また、これらの硬質強磁性膜の保磁力を大きくするために下地層を形成してもよい。これらの硬質強磁性膜は基本的には最密六方晶構造の結晶構造を有し、磁化容易軸はC軸である。そのため、膜面内方向に効率的にバイアス磁界をかけるためにはC軸を面内方向にするのが好ましい。その場合、何らかの下地層を設けてもよい。下地層を形成することにより保磁力を更に大きくすることができる。下地層はCo系合金との格子定数が同じ程度の材料が好ましく、中でも体心立方構造を有するCr、Mo、W、Ta、Zr及びこれらの合金が好ましい。

【0028】磁区制御膜214、215として反強磁性膜を用いる場合は、第1の強磁性膜211との交換結合により交換バイアス磁界を生じさせる。大きな交換バイアス磁界を生じさせるためには、強磁性層/反強磁性層の界面において、良好な平坦性を実現すること、及び、ミキシング層の形成を抑えることが重要である。

【0029】反強磁性材料としては、金属系材料と酸化物系材料があり、金属系反強磁性材料としてはFeMn、NiMnなどのMn系合金やCrAl、CrSbなどのCr系合金を用いるのがよい。また、酸化物系反強磁性材料としてはNiO、CoO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などを用いればよい。特に好ましいのはMn系反強磁性材料であり、大きな交換バイアス磁界を得ることができる。しかしながら、Mn系合金の中には、NiFeなどの強磁性膜上でエピタキシャル成長をさせなければ得られないものがあり、この場合は、図5及び図6に示すように、反強磁性膜でなる磁区制御膜214、215が、強磁性トンネル接合部21の単一磁区状態にすべき第1の強磁性膜211上に接する構造にすることが望ましい。あるいは、図7に示すように磁区制御膜214、215の上に第1の強磁性膜211を設けてもよい。

【0030】<磁化固定手段>強磁性トンネル接合部21の磁気抵抗変化は、第1の強磁性膜211及び第2の強磁性膜212の磁化の相対角度に依存する。従って、磁気ヘッドのように微少磁場で高出力、かつ、対称性の良好な波形を得るため、第1の強磁性膜211の磁化方向M1と、第2の強磁性膜212の磁化方向M2とは、外部印加磁場が零の場合に互いに平行でないことが望ましい。

【0031】外部磁場に対して、自由強磁性膜である第1の強磁性膜211の磁化容易軸が垂直、ピン止め強磁性膜である第2の強磁性膜212の容易軸が平行になるように方向付ける手段としては、次の2つの手段がある。

【0032】第1の磁化固定手段は、自由強磁性膜である第1の強磁性膜211を低保磁力の軟質強磁性膜を用い、ピン止め強磁性膜である第2の強磁性膜212に高保磁力の硬質強磁性膜を用いる方法である。

【0033】図8は、第1の磁化固定手段を採用した場合、即ち、自由強磁性膜に低保磁力の軟質強磁性膜を用い、ピン止め強磁性膜に高保磁力の硬質強磁性膜を用いた場合の磁場-磁気抵抗(MR)変化率特性を示す図である。図8において、円内に示された2つの矢印は、第1の強磁性膜211の磁化の向き、及び、第2の強磁性膜212の磁化の向きをそれぞれ示している。印加磁場Hを、磁場(-H2)よりも低い値から徐々に大きくしていくと、低保磁力である自由強磁性膜211は磁場(+H1)で磁化反転する。印加磁場Hを更に大きくしていくと、高保磁力であるピン止め強磁性膜212が磁場(+H2)で磁化反転する。同様に、印加磁場Hを、

磁場  $H_2$  より高い値から徐々に低くしていくと、磁場  $(-H_1)$  および  $(-H_2)$  で強磁性膜 211、212 が磁化反転する。

【0034】印加磁場  $H$  が  $|H_1| < H < |H_2|$  となる範囲で、第1の強磁性膜 211 の磁化の向きと、第2の強磁性膜の磁化の向きは反平行になり、印加磁場  $H$  が  $|H_1| > H$  および  $H > |H_2|$  の範囲で磁化の向きが平行になる。電気抵抗は、磁化の向きが反平行状態の時大きく、磁化の向きが平行状態であるとき小さくなる。磁化の向きが平行である時の抵抗値  $R_s$  と、磁化の向きが反平行から平行へ変化したときの抵抗の変化分  $\Delta R$  の比  $(\Delta R/R_s)$  が  $MR$  変化率となり、これにより外部印加磁界を検出することができる。

【0035】第2の磁化固定手段は、第1の強磁性膜 211 及び第2の強磁性膜 212 の両者共、軟質強磁性膜によって構成し、ピン止め強磁性膜である第2の強磁性膜 212 に磁化固定膜を積層し、第2の強磁性膜 212 の磁化の向きを固定する方法である。図9は第2の磁化固定手段を採用した場合、即ち、自由強磁性膜およびピン止め強磁性膜の両者共、軟質強磁性膜を用い、ピン止め強磁性膜に隣接して磁化固定膜を積層した場合の磁場- $MR$  変化率特性を示す図である。零磁場付近では自由強磁性膜のみが磁化反転し、磁化固定膜と交換結合したピン止め強磁性膜は磁化反転しない。磁場を更に大きくし、交換結合ではピン止めできなくなると、ピン止め強磁性膜も磁化反転する。この場合は、磁場  $H$  が  $+H_5 < H < +H_6$  の範囲で高い  $MR$  変化率が得られる。

【0036】次に、上述したような要求を充たすための磁化固定手段の具体例について説明する。

【0037】磁化固定膜 216 としては、高保磁力の硬質強磁性膜または反強磁性膜の何れかを用いることができる。磁化固定膜 216 として、硬質強磁性膜を用いた場合には、磁化固定膜 216 及び第2の強磁性膜 212 の間に強磁性膜-強磁性膜による交換結合が生じ、第2の強磁性膜 212 の磁化の向きが固定され、ピン止め強磁性膜となる。磁化固定膜 216 として、反強磁性膜を用いた場合には、磁化固定膜 216 及び第2の強磁性膜 212 の間に反強磁性膜-強磁性膜による交換結合が生じ、第2の強磁性膜 212 の磁化の向きが固定され、ピン止め強磁性膜となる。

【0038】硬質強磁性膜としては、 $Co$  合金、例えば、 $CoPt$ 、 $CoPtCr$ 、 $CoPtTa$ 、 $CoCrTa$ 、 $CoPtTaCr$  などを用いることができる。反強磁性膜としては、金属系反強磁性材料あるいは酸化物系反強磁性材料を用いることができる。金属系反強磁性材料の例は  $Mn$  合金である。利用できる  $Mn$  合金としては  $FeMn$ 、 $NiMn$ 、 $PtMn$ 、 $RuMn$ 、 $RhMn$ 、 $IrMn$ 、 $PdMn$  及びそれらの合金を挙げることができる。酸化物系反強磁性材料の例は、 $NiO$ 、 $NiCoO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $CoO$  である。

【0039】図10は本発明に係る磁気抵抗効果素子に

おける強磁性トンネル接合部 21 の別の例を示す断面図、図11は図10の11-11線に沿った断面図、図12は図10の12-12線に沿った断面図、図13は図10～図12に示した磁気抵抗効果素子のトンネル接合部の動作を説明する図である。図において、図1～図3と同一の構成部分は、同一の参照符号を付し、詳細な説明は省略する。

【0040】この実施例では、第2の強磁性膜 212 を自由強磁性膜とし、第1の強磁性膜 211 をピン止め強磁性膜とする。第2の強磁性膜 212 の両端部に、磁区制御膜となる磁区制御膜 214、215 を形成する。外部印加磁場  $H$  に対し、第1の強磁性膜 211 の磁化容易軸は平行方向、第2の強磁性膜 212 の磁化容易軸は垂直方向になるように形成される。この場合、第1の強磁性膜 211 は外部磁場  $H$  に対し磁化  $M_1$  が固定され、第2の強磁性膜 212 は外部磁場  $H$  に対し磁化方向  $M_2$  が自由に変化し得る。この場合も、図1～図3に示した実施例と同様の作用効果を奏する。

【0041】図14は本発明に係る磁気ヘッドの強磁性トンネル接合部 21 の別の例を示す断面図、図15は図14の15-15線に沿った断面図、図16は図14の16-16線に沿った断面図である。この実施例では、第2の強磁性膜 212 の面上に磁化固定膜 216 を有する。従って、第2の強磁性膜 212 がピン止め強磁性膜となり、第1の強磁性膜 211 が自由強磁性膜となる。図示は省略するけれども、磁化固定膜 216 は第1の強磁性膜 211 に設けてもよい。この場合は、第1の強磁性膜 211 がピン止め強磁性膜となり、第2の強磁性膜 212 が自由強磁性膜となる。

【0042】図17は図14～図16に示した磁気抵抗効果素子のトンネル接合部の動作を説明する図である。実施例において、印加磁場ゼロのとき、第1の強磁性膜 211 の磁化の向き  $M_1$  が、印加されるべき磁場  $H$  に対して垂直であり、第2の強磁性膜 212 の磁化の向き  $M_2$  は、印加されるべき磁場  $H$  と平行となる方向に固定されている。この状態で、磁気ディスク等の磁気記録媒体から磁場  $H$  が印加された場合、磁化固定膜 216 によりピン止めされている第2の強磁性膜 212 の磁化の向き  $M_2$  は変化しないが、第1の強磁性膜 211 の磁化の向き  $M_1$  は、例えば角度  $\theta$  だけ変化する。これにより磁気抵抗効果が生じる。

【0043】こうすることにより、自由強磁性膜である第1の強磁性膜 211 の磁化の動きのみで、両強磁性膜 211、212 の間に、磁化の向きに関して、相対角度変化を生じさせることができる。この場合、外部磁場  $H$  に対して、磁化  $M_1$  の方向が自由に変化する自由強磁性膜を構成する第1の強磁性膜 211 の磁化容易軸が垂直となり、磁化  $M_2$  の方向が固定化されているピン止め強磁性膜を構成する第2の強磁性膜 212 の磁化容易軸が平行となるように設定するのがよい。こうすることによ



り、自由強磁性膜である第1の強磁性膜211の磁化の方向が、外部磁場により磁化回転モードで変化するため、高いMR感度を得られると共に、スムーズな磁化回転が行なわれ、磁壁移動に伴うバルクハウゼンノイズの発生を低減できる。

【0044】<絶縁膜>第1の強磁性膜211及び第2の強磁性膜212の間に備えられた絶縁膜210は、高いMR変化率を再現性良く得ること、及び、磁気ヘッドなどの磁気抵抗効果素子の構造を簡素化するために、きわめて重要な役割を担っている。特に、絶縁膜210によるバリアポテンシャルを0.5~3eVの範囲に設定した場合、高いMR変化率を再現性良く得るとともに、磁気抵抗効果素子の構造を簡素化できる。次にこの点について述べる。

【0045】強磁性トンネル接合において、電子eがスピンの向きを保ったまま、第1の強磁性膜211から、絶縁膜210を介して、第2の強磁性膜212に通抜けるとき、電子eの透過率はスピンを考慮して求めた波動関数を用いて、入射波と透過波の振幅自乗比から求められ、そのトンネルコンダクタンスGは、 $G = G_0' (1 + P_1' \cdot P_2') \cos \theta$ と表される。ここで、

$$P_1' = [(K_{1\uparrow} - K_{1\downarrow}) / (K_{1\uparrow} + K_{1\downarrow})] \alpha_1$$

$$P_2' = [(K_{2\uparrow} - K_{2\downarrow}) / (K_{2\uparrow} + K_{2\downarrow})] \alpha_2$$

$G_0'$  : 両強磁性層内での電子の波数 $K_{1\uparrow}$ 、 $K_{1\downarrow}$ 、 $K_{2\uparrow}$ 、 $K_{2\downarrow}$ 及びバリアポテンシャルの高さで定まる定数  
 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  : バリアポテンシャルの高さに依存する係数  
 $P_1'$ 、 $P_2'$  : 両強磁性膜1、2の有効スピン偏極度  
 $P_1$ 、 $P_2$  : 両強磁性膜1、2のスピン偏極度（有効スピン偏極度 $P_1'$ 、 $P_2'$ の分数部分）

である。トンネルコンダクタンスの変化率 $\Delta G / G_0$ は、

$$\Delta G / G_0 = 2 \cdot P_1' \cdot P_2'$$

となる。トンネルコンダクタンスの変化率 $\Delta G / G_0$ はMR変化率と同義である。

【0046】バリアポテンシャルの高さが低いと、それに依存する係数 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ が小さくなるため、両強磁性膜の有効スピン偏極度 $P_1'$ 、 $P_2'$ も小さくなり、MR変化率が低くなる。逆に、バリアポテンシャルが十分に高いと、有効スピン偏極度 $P_1'$ 、 $P_2'$ が、スピン偏極度 $P_1$ 、 $P_2$ に近づき、高いMR変化率が得られる。

【0047】バリアポテンシャルが0.5~3eVの範囲にある場合、高いMR変化率を、再現性よく得ることができる。その理由の一つは、バリアポテンシャルを0.5~3eVの範囲に保つことにより、均一性が良好で、ピンホールの非常に少ない絶縁膜210の形成が保証されるためと推測される。

【0048】バリアポテンシャルが1.5~2.5eVの範囲では、特に好ましい結果が得られた。

【0049】バリアポテンシャルが1.5~2.5eVの

範囲では、第1の強磁性膜211と第2の強磁性膜212との間に、絶縁膜210を介して、安定した反強磁性的結合を生じためと推測される。

【0050】バリアポテンシャルが3eVを超えると、高いMR変化率を得ることができなくなる。原因は明確ではないが、3eVを超えるバリアポテンシャルの範囲では、トンネル電流が流れなくなるためではないかと推測される。

【0051】バリアポテンシャルが0.5eVよりも小さくなると、この種の強磁性トンネル接合において期待される高いMR変化率を得ることができなくなる。その理由は、絶縁膜210の均一性が劣化し、ピンホールが増えるためと推測される。

【0052】次に、バリアポテンシャルが0.5~3eVとなる範囲において、第1の強磁性膜211と第2の強磁性膜212との間に、絶縁膜210を介して、安定した反強磁性的結合を生じさせ得る可能性は、この強磁性トンネル接合を、磁気ヘッドの読み取り用磁気変換素子に用いる場合に大きな利点をもたらす。

【0053】図18は反強磁性的結合を生じている場合の磁場-磁気抵抗変化率特性を示す図である。図18に示すように、反強磁性的結合を生じている場合、磁場-磁気抵抗曲線L1、L2が零磁場付近の領域 $\Delta H$ で、MR変化率が最も高い値を示すようになる。従って、この強磁性トンネル接合を磁気ヘッドの読み取り用磁気変換素子として用いた場合、バイアス磁場を印加する必要がなく、エレメント形状による反磁性と磁区制御膜の効果で、零磁場付近で直線領域が得られる。このため、磁気ヘッドの構造を簡素化することができる。

【0054】上述のようなバリアポテンシャルを確保し得る絶縁膜210の一例は、大気中で40~100℃アニールした酸化アルミニウム膜である。かかる酸化アルミニウム膜は、金属アルミニウムが局部的に存在しなくなったため、上下の強磁性膜211-212間でブリッジができなくなり、その結果、高いバリアポテンシャルを有する極薄絶縁膜210を有する強磁性トンネル接合が実現できる。

【0055】絶縁膜210の他の例としては、ダイヤモンド状炭素膜(Diamond-like carbon膜、以下DLC膜と称する)も、高いバリアポテンシャルを有する極薄の絶縁膜210を実現するのに有効である。特に、プラズマCVD法で作製したDLC膜は、数十Åという非常に薄い膜厚においても、均一、かつ、ピンホールのない良好な絶縁膜210が得られる。

【0056】なお、M.Pomerantz, J.C.Sloczewski及びE.Spiller等が開示した中間膜のC膜は、MBE法で作製したアモルファス-C膜であり、プラズマCVD法で作製したDLC膜とは異なる。具体的には、アモルファス-C膜は炭素同士がネットワーク状に結合しているものであるが、本発明のDLC膜は炭素と水素がネットワ

ーク状に結合しており、本質的に異なるものである。

【0057】次に、強磁性トンネル接合部21の接合面積及び絶縁膜210について、実施例を挙げて説明する。

【0058】<実施例1>製造方法において、酸化アルミニウム膜でなる絶縁膜210は、アルミニウム膜を大気中において60℃、24時間の熱処理を行なって形成した。強磁性トンネル接合の接合面積は0.25~2500 $\mu\text{m}^2$ とした。

【0059】上述した接合面積を持つ強磁性トンネル接合を、各20個ずつ作製し、各接合面積毎のバリアポテンシャル、MR変化率の平均値及びそのばらつきを調べた。また、歩留りにについても調べた。次に、強磁性トンネル接合の作製方法を具体的に説明する。

【0060】まず、第1の強磁性膜211として、膜厚10nmの $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜をRFスパッタ法で成膜し、レジストフォトリソ、Arイオンミリング、レジスト剥離の微細加工技術を用いて、0.5~50 $\mu\text{m} \times 0.5\text{mm}$ の矩形状にパターンニングした。

【0061】その後、レジストパターンニングをおこなった後、第1の強磁性膜211を構成する $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜の表面酸化膜を逆スパッタにより除去したあと、電子ビーム加熱式真空蒸着法により、膜厚5nmのアルミニウム膜を成膜した。

【0062】その後、サンプルを真空蒸着装置から取り出して、大気中において60℃、24時間の熱処理を行なった後、リフト・オフ・プロセスを経て、酸化アルミニウム膜でなる絶縁膜210を形成した。

【0063】次に、再びレジストパターンニングをおこなった後、第2の強磁性膜212として膜厚100nmのCo膜をRFスパッタ法で成膜し、続いて、リフトオフプロセスを経て、第1の強磁性膜211と直角方向に0.5~50 $\mu\text{m} \times 0.5\text{mm}$ の矩形状パターンを持つ第2の強磁性膜212を形成した。これにより、接合面積0.25~2500 $\mu\text{m}^2$ の強磁性トンネル接合が得られた。

【0064】また、比較として、従来用いられている自然酸化アルミニウム膜(成膜後、大気中において24時間放置)を絶縁膜210とした $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ /酸化アルミニ

ウム/Co強磁性トンネル接合も同様に作製した。

【0065】実施例及び比較例において採用された第1の強磁性膜211および第2の強磁性膜212の成膜条件は以下に示す通りである。また、アルミニウム膜は、到達圧力 $3 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 、蒸着速度0.05nm/secで作製した。

【0066】<強磁性膜成膜条件>

到達圧力： $1 \times 10^{-5}\text{Pa}$

ターゲット：Ni-20at%Fe(4インチφ)

スパッタガス：Ar 5sccm

スパッタ圧力：0.5Pa

投入パワー：150W

成膜レート： $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 、45nm/min、Co 40nm/min

基板温度：水冷

このようにして作製したサンプルについて、直流4端子法で磁気抵抗(MR)曲線を測定した。なお、測定時の最大印加磁場は $\pm 1\text{kOe}$ とし、 $-1\text{kOe}$ の磁場を印加させたのち、磁場を徐々に大きくして $+1\text{kOe}$ までかけ、再び $-1\text{kOe}$ に戻した。また、バリアポテンシャルはトンネル接合のV-I特性を測定し、直線領域からのずれをもとめた。

【0067】図19に本発明に係る接合面積 $50 \times 50\mu\text{m}^2$ の強磁性トンネル接合の磁気抵抗曲線を示す。印加磁場を $-1\text{kOe}$ より大きくしていくと、 $+50\text{e}$ において、第1の強磁性膜211の磁化反転がおり、第1の強磁性膜211と第2の強磁性膜212のスピンの反平行になるため、電気抵抗が大きくなる。バリアポテンシャルを求めた結果0.5eVであり、作製した20個のうち16個において同様のMR曲線が得られた。MR変化率は6.6~8.1%であり、MR変化率の平均値は7.6%で、変化率ばらつきは $\pm 7\%$ であった。

【0068】一方、自然酸化アルミニウム膜を絶縁膜210とした比較例の強磁性トンネル接合においては、バリアポテンシャルは0.2eVしか得られなかった。また、4個しかMR曲線が観測できず、MR変化率平均値は1.5%と低く、平均値ばらつき $\pm 8.8\%$ と非常に大きかった。種々の接合面積についても同様の評価を行なった。これらの結果を表1-1、1-2に示す。

表1-1

サンプル 実施例	絶縁層 (60℃で 熱処理)	接合面積 ( $\mu\text{m}^2$ )	バリアポテ ンシャル (eV)	MR変化率		歩留り*) (個数)
				平均値 (%)	ばらつき (%)	
1-1	熱酸化 アルミナ膜	50×50	0.5	7.6	±7	16
1-2	"	20×20	1.0	7.5	±8	15
1-3	"	10×10	0.9	8.0	±6	16
1-4	"	5×5	0.7	7.9	±8	14
1-5	"	4×4	1.2	8.2	±10	14
1-6	"	3×3	1.5	8.4	±9	19
1-7	"	2×2	3.0	8.3	±11	15
1-8	"	1×1	2.5	8.3	±6	18
1-9	"	0.5×0.5	2.3	8.5	±10	19

表1-2

サンプル 比較例	絶縁層 (大気中 にて放置)	接合面積 ( $\mu\text{m}^2$ )	バリアポテ ンシャル (eV)	MR変化率		歩留り*) (個数)
				平均値 (%)	ばらつき (%)	
1-1	自然酸化 アルミナ膜	50×50	0.2	1.5	±88	4
1-2	"	20×20	0.2	1.8	±78	5
1-3	"	10×10	0.05	1.5	±75	4
1-4	"	5×5	0.2	1.7	±80	8
1-5	"	4×4	0.1	1.8	±85	6
1-6	"	3×3	0.2	1.5	±72	6
1-7	"	2×2	0.3	2.2	±74	7
1-8	"	1×1	0.1	1.8	±70	5
1-9	"	0.5×0.5	0.3	2.0	±85	6

\*) 20個中で良好なMR特性が得られた強磁性トンネル接合の個数

【0069】表1から明らかなように、大気中60℃熱処理により形成した酸化アルミニウム膜を絶縁膜210としての用いることにより、0.5～3eVの高いバリアポテンシャルと高いMR変化率が得られ、しかもばらつきが少なく、高い歩留まりが得られる。特にバリアポテンシャルが1.5～2.5eVのとき歩留まりが高い。また、30～250℃の温度範囲で大気中熱処理して得られた酸化アルミニウム膜を絶縁膜210とした強磁性トンネル接合のMR特性を調べた結果、40～100℃熱処理した場合に、高いMR変化率が得られ、しかも、ばらつきが少なく、高い歩留まりが得られることがわかった。

【0070】<実施例2>第1の強磁性膜211はCo-50%atによって構成し、第2の強磁性膜212はCoおよび絶縁膜210をDLC膜によって構成した。Co<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub>/DLC/Co強磁性トンネル結合を作製し、第1の強磁性膜211の膜厚は10nm、第2の強磁性膜212の膜厚は5nmにした。接合面積は0.25～2500 $\mu\text{m}^2$ とした。第1の強磁性膜211及び第2の強磁性膜2

12は実施例1と同様の方法で作製した。絶縁膜210を構成するDLC膜は、プラズマCVD法により、膜厚5nmになるよう成膜し、リフトオフ法によりパターンングした。DLC膜の成膜条件は以下に示す。

【0071】<DLC膜成膜条件>

到達圧力：2×10<sup>-3</sup>Pa

導入ガス：メタン 5sccm

スパッタ圧力：3.5Pa

RFパワー：50W

自己バイアス：-150V

成膜レート：10nm/min

基板温度：加熱および水冷なし

また、比較例として、自然酸化アルミニウム膜を絶縁膜210としたCo<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub>/酸化アルミニウム/Co強磁性トンネル接合を作製した。

【0072】上記実施例及び比較例のサンプルについて、直流4端子法でMR特性を測定して得られた結果を表2-1、2-2に示す。

表2-1

サンプル 実施例	絶縁層	接合面積 ( $\mu\text{m}^2$ )	バリアポテン シヤル (eV)	MR変化率		歩留り* (個数)
				平均値 (%)	ばらつき (%)	
2-1	DLC	50×50	1.2	18.9	±12	15
2-2	"	20×20	1.0	18.5	±15	15
2-3	"	10×10	0.8	18.1	±13	16
2-4	"	5×5	1.0	19.0	±16	14
2-5	"	4×4	1.2	19.8	±12	14
2-6	"	3×3	1.5	20.4	±12	18
2-7	"	2×2	1.8	20.3	±11	19
2-8	"	1×1	2.7	19.3	±11	15
2-9	"	0.5×0.5	2.3	20.5	±10	19

表2-2

サンプル 比較例	絶縁層	接合面積 ( $\mu\text{m}^2$ )	バリアポテン シヤル (eV)	MR変化率		歩留り* (個数)
				平均値 (%)	ばらつき (%)	
2-1	自然酸化 アルミナ膜	50×50	0.2	3.3	±82	5
2-2	"	20×20	0.2	1.6	±75	6
2-3	"	10×10	0.1	1.5	±60	5
2-4	"	5×5	0.2	1.7	±56	4
2-5	"	4×4	0.06	1.8	±77	5
2-6	"	3×3	0.1	1.5	±55	6
2-7	"	2×2	0.4	2.2	±60	6
2-8	"	1×1	0.3	1.8	±70	7
2-9	"	0.5×0.5	0.4	2.0	±60	7

\*) 20個中で良好なMR特性が得られた強磁性トンネル接合の個数

【0073】表2から明らかなように、プラズマCVD法で作製したDLC膜を、絶縁膜210として用いることにより、高いバリアポテンシャルおよび高いMR変化率が得られ、しかも、ばらつきが少なく、高い歩留まりが得られることがわかる。例えば、本実施例による接合面積 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ のサンプルについて、作製した20個のうち、15個でMR曲線が得られた。MR変化率の平均値は18.9%で、変化率のばらつきは±12%であった。また、実施例1と同様に、バリアポテンシャル1.5~2.5eVのとき特に歩留りが高かった。これに対して、自然酸化アルミニウム膜を絶縁膜210とした比較例の強磁性トンネル接合においては、バリアポテンシャルは小さく、5個しかMR曲線が観測できず、MR変化率平均値は3.3%と低く、ばらつきは±88%と非常に大きかった。

【0074】次に、接合面積と反転磁場との関係について述べる。接合面積が小さいほど絶縁膜210のピンホールなどの欠陥が少なくなるため高い歩留まりが得られることは報告されている。表1および表2からわかるように、本実施例の強磁性トンネル接合において、接合面積が小さいほどMR変化率は高く、また高い歩留まりが得られる。特にバリアポテンシャル1.5~2.5eVのときに歩留りが高くなる。

【0075】また、図19に示す磁場Hab、即ち、第1の強磁性膜211の磁化が反転する磁場が、負の方向にシフトしていくことがわかった。特に、接合面積が $10 \mu\text{m}^2$ より小さくバリアポテンシャルが1.5~2.5eVのとき、零磁場において第1の強磁性膜211と第2の強磁性膜212の各々の磁化が反平行状態になる。このことは、両磁性膜間に反強磁性的結合力が作用していることを示している。接合面積が $10 \mu\text{m}^2$ より小さい場合に高いMR変化率と高い歩留まりが得られたのは、均一でピンホールの非常に少ない絶縁膜210を用い、かつ、接合面積を小さくすることにより、両磁性膜間に反強磁性的結合が生じたためと考えられる。また実施例1-7及び実施例2-8に示すように、接合面積が $10 \mu\text{m}^2$ 以下でもバリアポテンシャルが2.5eVより大きいと、両磁性膜間で反強磁性的接合は得られず、歩留りも若干低下する。

【0076】<磁化固定及び磁区制御の併用>図14~図17に示した実施例では、第2の強磁性膜212の上に磁化固定膜216を備えると共に、第1の強磁性膜211の両端に磁区制御膜214、215が設けられている。従って、磁区制御及び磁化固定の両方の作用が得られる。

【0077】次に、本発明に係る強磁性トンネル接合

を、磁気ヘッドへ適用した例について述べる。

【0078】図20は本発明に係る磁気ヘッドの斜視図である。図において、寸法は誇張されている。図示された本発明に係る磁気ヘッドは、スライダ1と、強磁性トンネル接合を利用した磁気変換素子（以下強磁性トンネル接合型磁気変換素子と称する）2と、更に、誘導型磁気変換素子3を含む。スライダ1は媒体対向面側にレール部11、12を有し、レール部11、12の表面が空気ベアリング面13、14を構成している。レール部11、12は2本に限らない。1〜3本のレール部を有することがあり、レール部を持たない平面となることもある。また、浮上特性改善等のために、空気ベアリング面（以下ABS面と称する）に種々の幾何学的形状が付されることもある。何れのタイプのスライダであっても、本発明の適用が可能である。

【0079】磁気変換素子2、3は、レール部11、12の一方または両者の媒体移動方向a1の端部に設けられている。媒体移動方向a1は、媒体が高速移動した時に動く空気の流れ出方向と一致する。スライダ1の媒体移動方向a1の端面には、強磁性トンネル接合型磁気変換素子2に接続された取り出し電極41、42及び磁気変換素子3に接続された取り出し電極43、44が設けられている。

【0080】図21は図20に示した磁気ヘッドの磁気変換素子部分の拡大断面図である。強磁性トンネル接合型磁気変換素子2は再生素子であり、誘導型磁気変換素子3は書き込み素子である。強磁性トンネル接合型磁気変換素子2及び誘導型磁気変換素子3は、スライダ1を構成するセラミック基体101の上に設けられた絶縁膜102の上に積層されている。セラミック基体101は、通常、 $Al_2O_3-TiC$ で構成される。 $Al_2O_3-TiC$ は導電性があるので、電気絶縁をする手段として、例えば $Al_2O_3$ でなる絶縁膜102が付着されている。セラミック基体101が高い絶縁性を有する場合は、絶縁膜102は省略できる。

【0081】図22は強磁性トンネル接合型磁気変換素子2の部分の拡大断面図、図23はその拡大斜視図、図24は図23の24-24線に沿った断面図である。強磁性トンネル接合型磁気変換素子2は、強磁性トンネル接合部21の構造が、図1〜図4に示した磁気抵抗効果素子と実質的に同じものが用いられている。即ち、強磁性トンネル接合型磁気変換素子2は、強磁性トンネル接合部21と、電極膜22、23とを含み、スライダ1の一部を構成する絶縁支持膜24、25によって支持されている。強磁性トンネル接合部21は、絶縁膜210と、第1の強磁性膜211と、第2の強磁性膜212とを含んでいる。第1の強磁性膜211と第2の強磁性膜212とは、絶縁膜210を介して積層されている。磁区制御膜214、215は、第1の強磁性膜211の両端部に隣接して設けられている。

【0082】電極膜22、23は、第1の電極膜22と、第2の電極膜23とを含んでいる。第1の電極膜22は第1の強磁性膜211に接続され、第2の電極膜23は第2の強磁性膜212に接続されている。

【0083】これらの第1の電極膜22及び第2の電極膜23は、ABS面13（または14）に露出しないように設けられている。その具体的手段として、実施例では、強磁性トンネル接合部21の先端面をABS面13（または14）に位置させると共に、第1の電極膜22及び第2の電極膜23を、強磁性トンネル接合部21の先端面の位置するABS面13（または14）から、間隔D1だけ後退させてある。

【0084】強磁性トンネル接合型磁気変換素子2は、下部磁気シールド膜51と、上部磁気シールド膜52との間において、絶縁支持膜24、25の内部に配置されている。下部磁気シールド膜51はセラミック基体101に設けられた絶縁膜102の上に付着され、絶縁支持膜24は下部磁気シールド膜51の上に付着されている。

【0085】上述のように、ABS面13（または14）に第1の電極膜22及び第2の電極膜23が露出しない構造にすることにより、下部磁気シールド膜51及び上部磁気シールド膜52と、強磁性トンネル接合型磁気変換素子2、特に、第1の電極膜22及び第2の電極膜23との間で、静電破壊が起こりにくくなり、耐電圧が改善されることが解った。

【0086】しかも、ABS面13（または14）における下部磁気シールド膜51及び上部磁気シールド膜52と、感磁部となる強磁性トンネル接合部21との間の間隔を狭くできるため、従来より高密度記録再生が可能になる。

【0087】図21には、再生素子となる強磁性トンネル接合型磁気変換素子2と共に、書き込み素子となる誘導型磁気変換素子3を有する複合型磁気ヘッドが図示されている。誘導型磁気変換素子3は、強磁性トンネル接合型磁気変換素子2に対する上部磁気シールド膜を兼ねている下部磁性膜52、上部磁性膜32、コイル膜33、アルミナ等でなるギャップ膜34、ノボラック樹脂等の有機樹脂で構成された絶縁膜35及びアルミナ等でなる保護膜36などを有している。下部磁性膜52及び上部磁性膜32の先端部は微小厚みのギャップ膜34を隔てて対向する下部ポール部P1及び上部ポール部P2となっており、下部ポール部P1及び上部ポール部P2において書き込みを行なう。下部磁性膜52及び上部磁性膜32は、そのヨーク部が下部ポール部P1及び上部ポール部P2とは反対側にあるバックギャップ部において、磁気回路を完成するように互いに結合されている。絶縁膜35の内部には、ヨーク部の結合部のまわりを渦巻状にまわるように、コイル膜33を形成してある。コイル膜33の両端は、取り出し電極43、44に導通さ

れている。コイル膜 33 の巻数および膜数は任意である。

【0088】図 25 は強磁性トンネル接合型磁気変換素子の別の実施例を示している。実施例に示された強磁性トンネル接合型磁気変換素子 2 は、強磁性トンネル接合部 21 の構造が、図 10～図 12 に示した磁気抵抗効果素子と実質的に同じものが用いられている。即ち、強磁性トンネル接合部 21 は、絶縁膜 210 と、第 1 の強磁性膜 211 と、第 2 の強磁性膜 212 とを含んでいる。第 1 の強磁性膜 211 と第 2 の強磁性膜 212 とは、絶縁膜 210 を介して積層されている。磁区制御膜 214、215 は、第 2 の強磁性膜 212 の両端部に隣接して設けられている。

【0089】図 26 は磁化固定膜 216 が設けられている場合の強磁性トンネル接合型磁気変換素子 2 の部分の拡大断面図、図 27 はその拡大斜視図である。図において、図 22～図 24 と同一の構成部分は同一の参照符号を付して説明は省略する。実施例において、強磁性トンネル接合型磁気変換素子 2 は、強磁性トンネル接合部 21 の構造が、図 14～図 16 に示した磁気抵抗効果素子と実質的に同じものが用いられている。即ち、強磁性トンネル接合型磁気変換素子 2 は、強磁性トンネル接合部 21 と、電極膜 22、23 とを含み、スライダ 1 の一部を構成する絶縁支持膜 24、25 によって支持されている。強磁性トンネル接合部 21 は、絶縁膜 210 と、第 1 の強磁性膜 211 と、第 2 の強磁性膜 212 とを含んでいる。第 1 の強磁性膜 211 と第 2 の強磁性膜 212 とは、絶縁膜 210 を介して積層されている。磁区制御膜 214、215 は、第 1 の強磁性膜 211 の両端部に隣接して設けられている。磁化固定膜 216 は第 2 の強磁性膜 212 の上に設けられている。

【0090】電極膜 22、23 は、第 1 の電極膜 22 と、第 2 の電極膜 23 とを含んでいる。第 1 の電極膜 22 は第 1 の強磁性膜 211 に接続され、第 2 の電極膜 23 は磁化固定膜 216 を介して第 2 の強磁性膜 212 に接続されている。次に、本発明に係る強磁性トンネル接合を磁気抵抗効果膜に用いた磁気ヘッドに適用した例について述べる。

【0091】＜実施例 3＞実施例 1 による  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ /熱酸化アルミナ膜/ $\text{Co}$  強磁性トンネル接合を磁気抵抗効果膜に用い磁区制御膜を付与した再生用磁気抵抗型磁気ヘッドと、付与しない磁気ヘッドを作製し、磁気記録媒体に書き込まれた記録信号を読み出し、再生特性を比較した。本実施例では第 1 の強磁性膜 211 を  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  膜、中間の絶縁膜 210 を熱酸化アルミナ膜、第 2 の強磁性膜 212 を  $\text{Co}$  膜とし、各々の膜厚は、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  膜厚は 20nm、酸化アルミナ膜は 5nm、 $\text{Co}$  膜厚は 5nm になるようにした。次に、磁気ヘッドの作製方法について説明する。まず、膜厚 30  $\mu\text{m}$  のアルミナ絶縁膜 102 が形成された  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiC 基板 101 (図示しない) 上

に下部磁気シールド膜 51 として、DC スパッタ法をもちいて膜厚 2  $\mu\text{m}$  のセンダスト膜を形成し、磁場中熱処理後フォトリソおよび Ar イオンエッチングにより所定の形状にした。

【0092】次にこの上に下部の絶縁支持膜 24 として RF スパッタ法を用いて、膜厚 80nm のアルミナ膜を形成し、続いて、第 1 の電極膜 22 として、レジストパターンニング後、Ta(10nm)/Cu(100nm)/Ta(10nm) 膜を DC スパッタ法で成膜し、リフトオフ法で所定の形状に加工した。

【0093】次に、膜厚 20nm の  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  膜でなる第 1 の強磁性膜 211、膜厚 5nm の熱酸化アルミナ膜でなる中間の絶縁膜 210 および膜厚 5nm の  $\text{Co}$  膜でなる第 2 の強磁性膜 212 を積層した強磁性トンネル接合 21 を形成した。強磁性トンネル接合の形成にはスパッタ膜と蒸着膜を大気に晒すことなく連続して形成できるスパッタ/電子ビーム蒸着複合成膜装置を用いた。次に、強磁性トンネル接合の形成について述べる。

【0094】まず、第 1 の電極膜 22 の上にレジストパターンニング後、第 1 の強磁性膜 211 として  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  (膜厚 20nm) 膜を RF スパッタ法で磁場中成膜により形成した。続いて、大気に晒すことなく連続して電子ビーム蒸着法により膜厚 5nm のアルミニウム膜を成膜した。その後、大気中において、60℃、24 時間の熱処理を行った後、リフトオフプロセスを経て、熱酸化アルミニウム膜でなる絶縁膜 210 を形成した。そして、その上に、磁区制御膜 214、215 を形成する部分を除いた全面にレジストをパターンニングし、不要な  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  (20nm)/熱酸化アルミニウム膜(5nm)を Ar イオンエッチングにより除去した。そして、磁区制御膜として下地層  $\text{Ti}_{10}\text{W}_{90}$  (5nm)/硬質強磁性層  $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$  (15nm) を DC スパッタ法で成膜し、リフトオフ法でレジスト除去を行い、磁区制御膜 214、215 を形成した。その後再びレジストパターンニングを行い、Ar イオンエッチングおよびレジスト剥離により、第 1 の強磁性膜 211、中間の絶縁膜 210 と磁区制御膜 214、215 を所定の形状に加工した。

【0095】次に、短絡防止用絶縁膜 213 を形成するため、形成すべき強磁性トンネル接合部分 21 にレジストカバーを形成し、RF スパッタ法でアルミナ絶縁層 (層厚 50nm) を成膜したのちにレジストをリフトオフし、短絡防止用絶縁膜 213 を形成した。短絡防止用絶縁膜 213 は、強磁性トンネル接合部分 21 を規定の大きさにして、強磁性トンネル接合部分 21 以外でトンネル電流が流れないようにすることと、第 1 の電極膜 22 と第 2 の電極膜 23 の絶縁、および第 1 の強磁性膜 211 と第 2 の強磁性膜 212 の絶縁をとるために設けた。そして、第 2 の強磁性膜 212 を形成するためレジストパターンニングを行い、第 2 の強磁性膜用として膜厚 10nm の  $\text{Co}$  膜を RF スパッタ法で磁場中成膜し、リフトオ

フ法により第2の強磁性膜212を形成した。このとき、第2の強磁性膜を成膜する時の印加磁場方向は第1の強磁性膜の成膜時と直行方向にかけた。

【0096】次に、磁化固定層216と第2の電極膜23を形成するためにレジストパターンニングを行い、第2の強磁性膜であるCo膜表面の酸化層を逆スパッタにより除去して、最終的な第2の強磁性膜212の膜厚が5nmになるようにし、続いて、PtMn(15nm)/Ta(10nm)/Cu(100nm)/Ta(10nm)膜をDCスパッタ法で連続成膜し、リフトオフ法でPtMn磁化固定層216と第2の電極膜23を形成した。なお、Ta(10nm)はプロセス時の酸化防止層として形成した。

【0097】次に、RFバイアススパッタ法で膜厚80nmのアルミナ膜を成膜し、上部の絶縁支持膜25を形成した。次に、上部磁気シールド膜52としてNiFe膜(膜厚2μm)をDCスパッタ法で作製し、フォトリソおよびエッチング技術により所定の形状にパターンニングした。最後に、めっき法でCuのバンプ電極膜を作製したのち、保護膜として膜厚30μmのアルミナ膜を被せた。その後、所定の大きさに加工研磨して、ABS面に強磁性トンネル接合部21を露出させた。以上のようにして、接合面積が幅1μm、長さ1μmの再生用磁気抵抗効果型磁気ヘッドとした。即ち、磁気ヘッドのトラック幅は1μmおよびMRハイトは1μm、MRシールド間隔は0.19μmとした。

【0098】磁区制御膜を付与しない磁気ヘッドは、第1の強磁性膜211と絶縁膜210をリフトオフ法で所定の形状にしたのち、続いて、短絡防止用絶縁膜213を同様の方法で形成する。それ以外のプロセスは磁区制御膜を付与する場合とおなじである。

【0099】以上のように作製した再生用磁気抵抗効果型磁気ヘッドのMR曲線と出力波形を調べた。図28に磁区制御膜を付与した磁気ヘッドのMR曲線(測定磁場: ±400e)を、図29に磁区制御膜を付与しない磁気ヘッドのMR曲線を示す。図からわかるように、磁区制御膜を付与した磁気ヘッドはスムーズなMR曲線が得られるが、磁区制御膜を付与していない磁気ヘッドはヒステリシスや階段状の変化がみられる不安定なMR曲線となった。

【0100】図30は磁区制御膜を付与した磁気ヘッドの出力波形を示し、図31は磁区制御膜を付与しない磁気ヘッドの出力波形を示す。図31に示すように磁区制御膜を付与していない磁気ヘッドはベースラインが変化したり、出力振幅が変化したりして不安定で、かつ、ノイズも大きいものに対し、磁区制御膜を付与することにより、図30に示すように安定な出力波形が得られる。

【0101】以上の結果から、磁区制御膜を付与することにより、安定でノイズの無いMR曲線や出力波形が得られることがわかる。

【0102】<実施例4>次に本発明に係る磁気ヘッド

と従来のAMR磁気ヘッドについて特性を調べた。

【0103】<本発明の磁気ヘッド>実施例2によるCoFe/DLC/Co強磁性トンネル接合を磁気抵抗効果膜に用いた磁気ヘッドを作製し、再生感度および再生出力を調べ、従来のNiFe膜(AMR)を磁気抵抗効果膜とする磁気ヘッドと比較した。強磁性トンネル接合の膜構成については、第1の強磁性膜211はCo-50at%Fe、第2の強磁性膜212はCo膜、中間の絶縁膜210をDLC膜とした。このとき、第1の強磁性膜211の膜厚は15nm、第2の強磁性膜212の膜厚は20nm、中間の絶縁膜210の膜厚は5nmとした。

【0104】次に、磁気ヘッドの作製方法について述べる。強磁性トンネル接合は実施例2で示した方法で形成し、それ以外は実施例3と同じ方法で、上部磁気シールド膜まで形成した。下部絶縁支持膜24の膜厚は100nm、上部の絶縁支持膜25の膜厚は120nmとし、MRシールド間隔は0.26μmとした。また、強磁性トンネル接合型変換素子のトラック幅およびMRハイトは各々1μmとなるようにした。

【0105】その後、図21に示すように、上部磁気シールド膜上に書き込み素子となる誘導型磁気変換素子部を形成した。以上のようにして、強磁性トンネル接合を、磁気抵抗効果膜とする磁気ヘッドを作製した。

【0106】<従来のAMR磁気ヘッド: 比較例>比較のため、SALバイアス方式のNiFe膜を磁気抵抗効果膜とした、トラック幅1μm、MRハイト1μm、MRシールド間隔0.26μmの磁気ヘッドも作製した。作製方法を以下に示す。下部の絶縁支持膜24までは本発明の強磁性トンネル接合を用いた磁気ヘッドと同じである。下部の絶縁支持膜24を形成した後、まずSAL膜としてNi<sub>73</sub>Fe<sub>18</sub>Rh<sub>9</sub>膜(膜厚10nm)、磁気分離膜としてTa膜(膜厚8nm)、MR膜としてNi<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>(膜厚17nm)、保護膜として膜としてTa膜(膜厚5nm)をDCスパッタ法で順次積層し、フォトリソ及びエッチングにより所定の形状に加工した。その後、磁区制御膜としてTi<sub>10</sub>W<sub>90</sub>(10nm)/Co<sub>80</sub>Pt<sub>20</sub>(50nm)、電極膜としてTa(10nm)/Cu(100nm)/Ta(10nm)をDCスパッタ法で成膜し、リフトオフ法により所定の形状に加工した。その後、上部の絶縁支持膜25の形成からは本発明の強磁性トンネル接合を用いた磁気ヘッドと同じである。

【0107】作製した磁気ヘッドを用いて、保磁力25000e、膜厚50nmの磁気記録媒体に信号を記録再生し、出力波形を調べた。その結果、図32に示すように、強磁性トンネル接合を用いた本発明の磁気ヘッドでは歪みのない良好な波形が得られた。

【0108】図33は単位トラック幅当たりの再生出力と記録密度との関係を示す図である。曲線L3は本発明に係る強磁性トンネル接合を用いた磁気ヘッドの特性、曲線L4は比較例として作製した、従来のAMR膜を用

いた磁気ヘッドの特性をそれぞれ示している。すなわち、本発明に係る磁気ヘッドは、従来のAMR膜を用いた磁気ヘッドより4～5倍の再生出力が得られた。

#### 【0109】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、以下のような効果が得られる。

(a) 高いMR変化率を得ることのできる磁気抵抗効果素子を提供することができる。

(b) ノイズのない安定した出力が得られる磁気抵抗効果素子を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る磁気抵抗効果素子を模式的に示す斜視図である。

【図2】図1の2-2線に沿った断面図である。

【図3】図1の3-3線に沿った断面図である。

【図4】図1～図3に示した磁気抵抗効果素子のトンネル接合部の動作を説明する図である。

【図5】本発明に係る磁気抵抗効果素子の別の実施例を模式的に示す斜視図である。

【図6】図5の6-6線に沿った断面図である。

【図7】本発明に係る磁気抵抗効果素子の別の実施例を模式的に示す断面図である。

【図8】自由強磁性膜に低保磁力の軟質強磁性膜を用い、ピン止め強磁性膜に高保磁力の硬質強磁性膜を用いた場合の磁場-磁気抵抗(MR)変化率特性を示す図である。

【図9】自由強磁性膜およびピン止め強磁性膜の両者共、軟質強磁性膜を用い、ピン止め強磁性膜に隣接して磁化固定膜を積層した場合の磁場-MR変化率特性を示す図である。

【図10】本発明に係る磁気抵抗効果素子における強磁性トンネル接合部の別の例を示す断面図である。

【図11】図10の11-11線に沿った断面図である。

【図12】図10の12-12線に沿った断面図である。

【図13】図10～図12に示した磁気抵抗効果素子のトンネル接合部の動作を説明する図である。

【図14】本発明に係る磁気ヘッドの強磁性トンネル接合部の別の例を示す断面図である。

【図15】図14の15-15線に沿った断面図である。

【図16】図14の16-16線に沿った断面図である。

【図17】図14～図16に示した磁気抵抗効果素子のトンネル接合部の動作を説明する図である。

【図18】反強磁性的結合を生じている場合の磁場-磁気抵抗変化率特性を示す図である。

【図19】接合面積 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ の強磁性トンネル接合の磁気抵抗曲線を示す。

【図20】本発明に係る磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドの斜視図である。

【図21】図20に示した磁気ヘッドの磁気変換素子部分の拡大断面図である。

【図22】図20及び図21に示した磁気ヘッドのMR磁気変換素子部分の拡大断面図である。

【図23】図22に示したMR磁気変換素子部分の拡大斜視図である。

【図24】図23の24-24線に沿った断面図である。

【図25】MR磁気変換素子の別の例を示す断面図である。

【図26】磁化固定膜が設けられている場合の強磁性トンネル接合型磁気変換素子の部分の拡大断面図である。

【図27】図26に示した強磁性トンネル接合型磁気変換素子の拡大斜視図である。

【図28】磁区制御膜を付与した磁気ヘッドのMR曲線を示す図である。

【図29】磁区制御膜を付与しない磁気ヘッドのMR曲線を示す図である。

【図30】磁区制御膜を付与した磁気ヘッドの出力波形を示す図である。

【図31】磁区制御膜を付与しない磁気ヘッドの出力波形を示す図である。

【図32】強磁性トンネル接合を用いた本発明に係る磁気ヘッドの出力波形を示す図である。

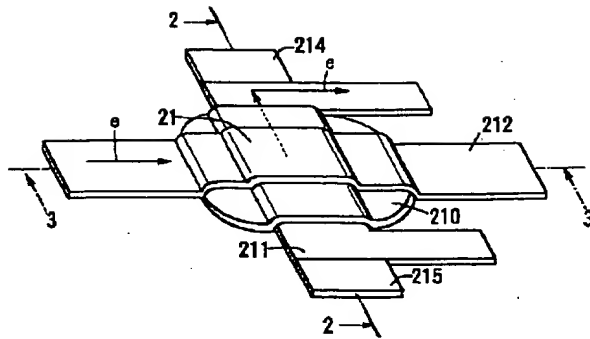
【図33】本発明に係る磁気ヘッドと、従来の磁気ヘッドについて、単位トラック幅当たりの再生出力と記録密度との関係を、比較して示す図である。

#### 【符号の説明】

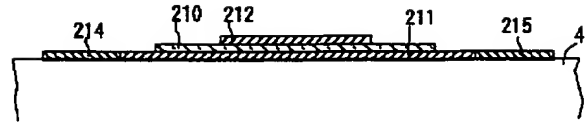
1	スライダ
4	基板
21	強磁性トンネル接合部
211	第1の強磁性膜
212	第2の強磁性膜
210	絶縁膜
214、215	磁区制御膜
216	磁化固定膜
22	第1の電極膜
23	第2の電極膜
24、25	絶縁支持膜
13、14	ABS面



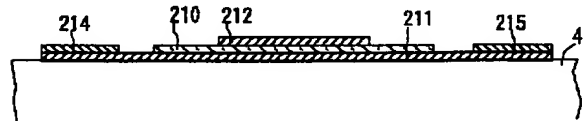
【図 1】



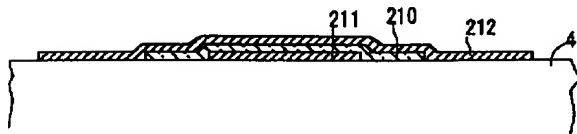
【図 2】



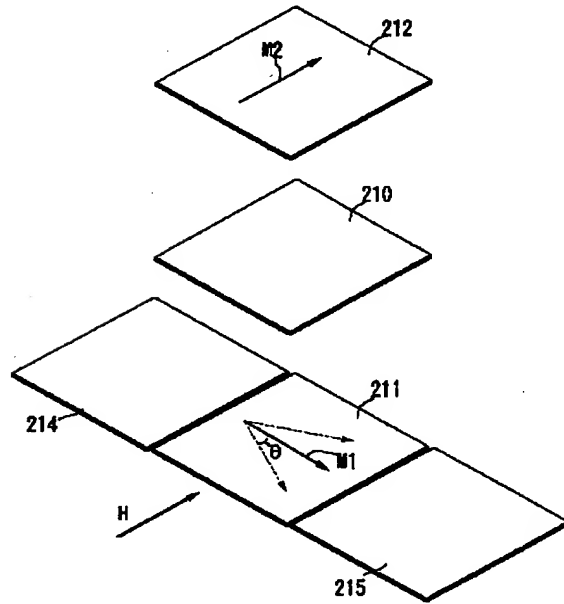
【図 6】



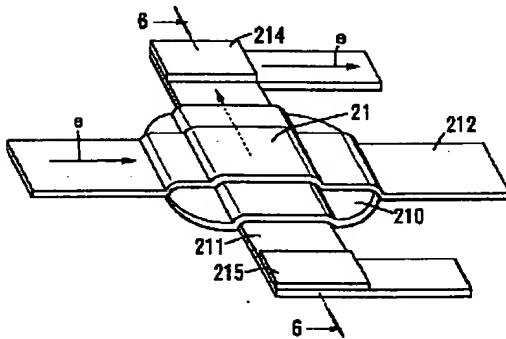
【図 3】



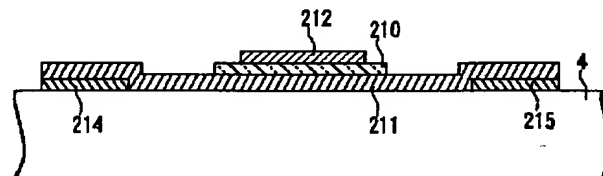
【図 4】



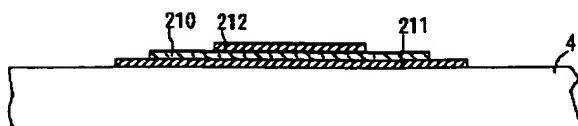
【図 5】



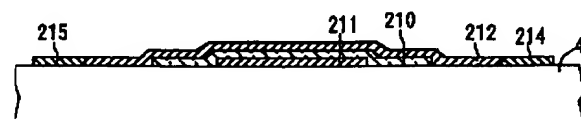
【図 7】



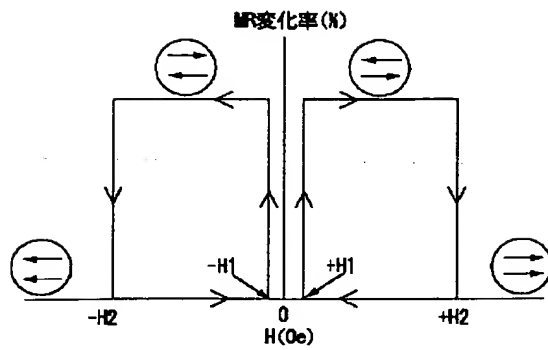
【図 1 1】



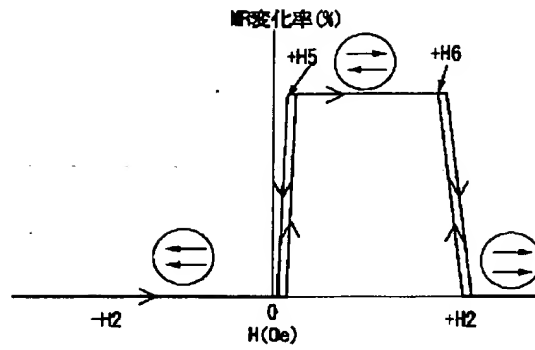
【図 1 2】



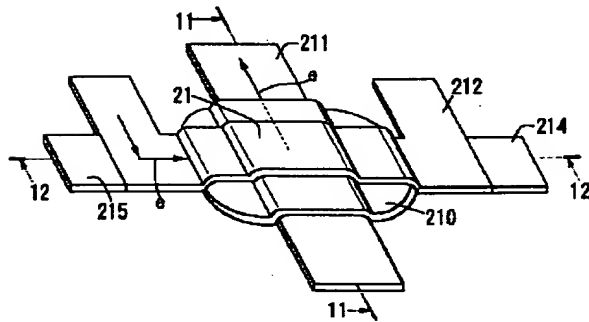
【図 8】



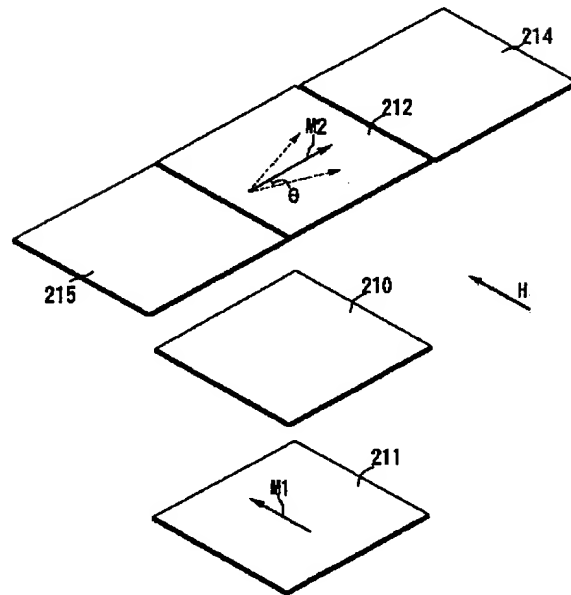
【図 9】



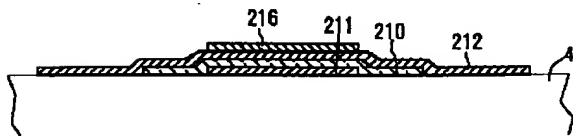
【図 10】



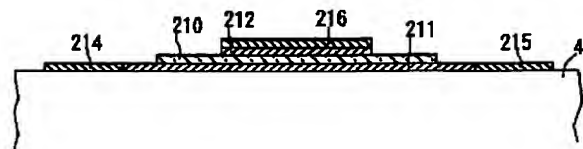
【図 13】



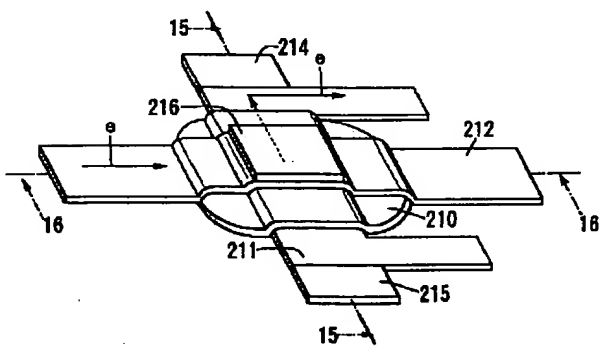
【図 16】



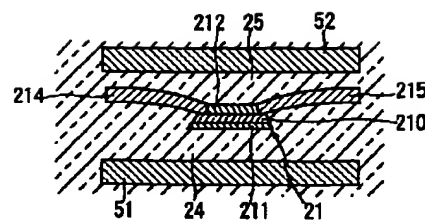
【図 15】



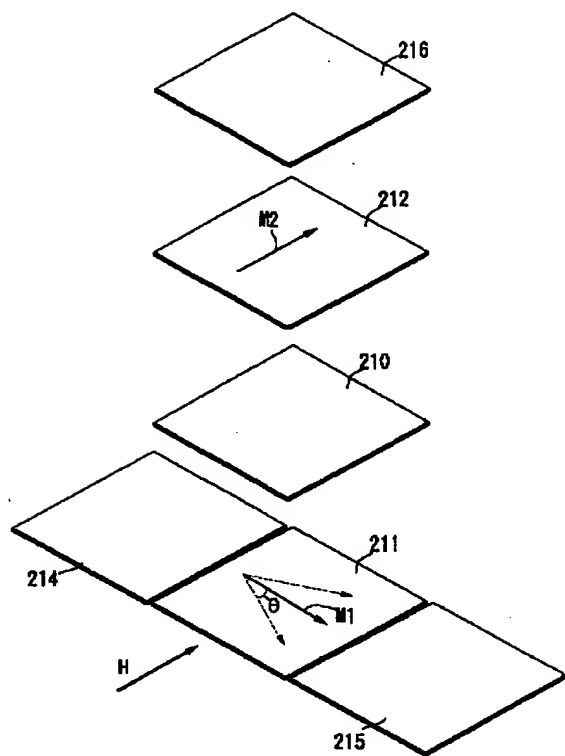
【図 14】



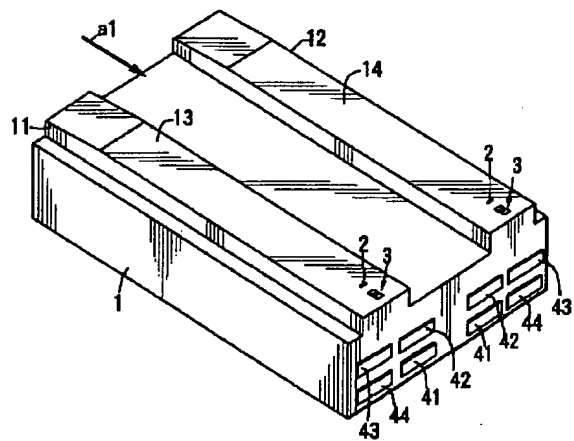
【図 25】



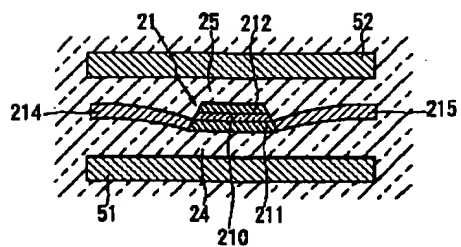
【図 17】



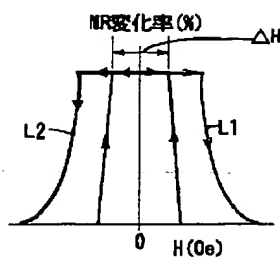
【図 20】



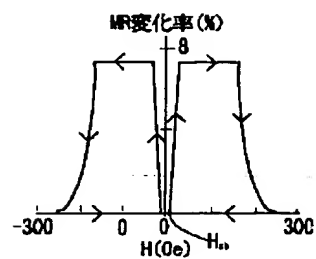
【図 24】



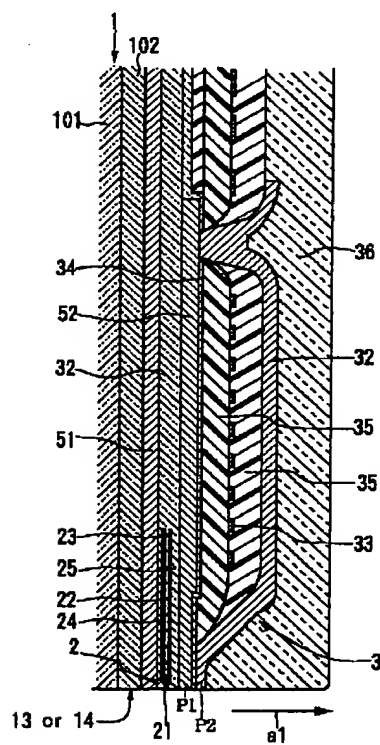
【図 18】



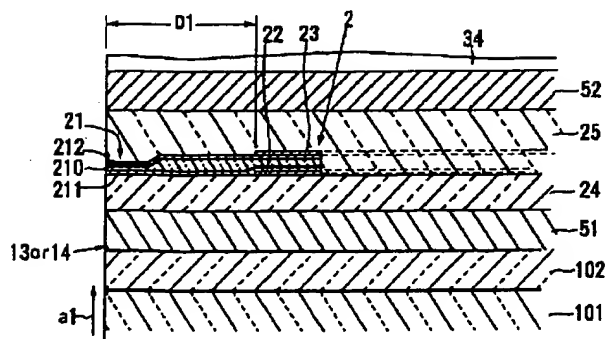
【図 19】



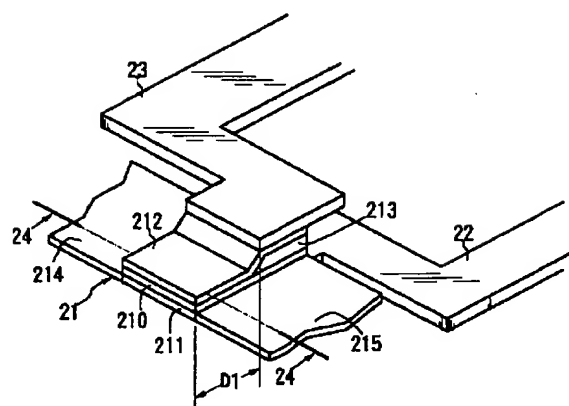
【図 21】



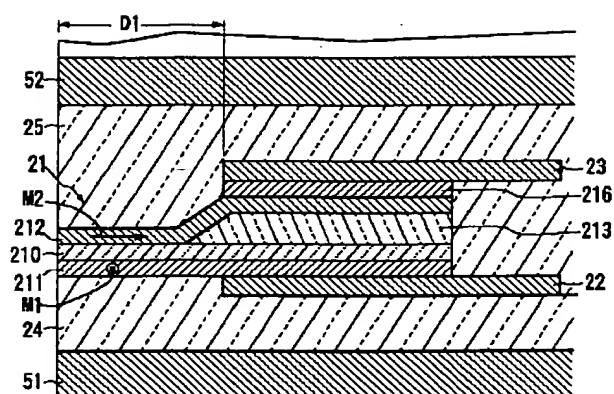
【図 22】



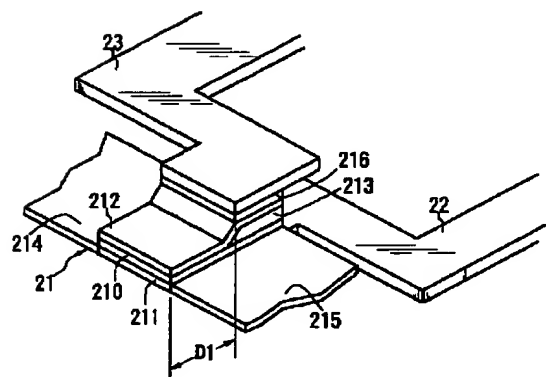
【図 2 3】



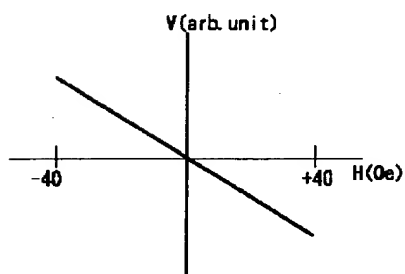
【図 2 6】



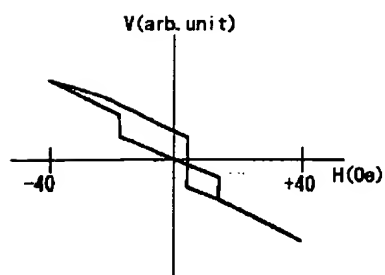
【図 2 7】



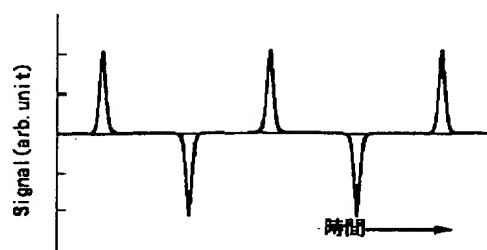
【図 2 8】



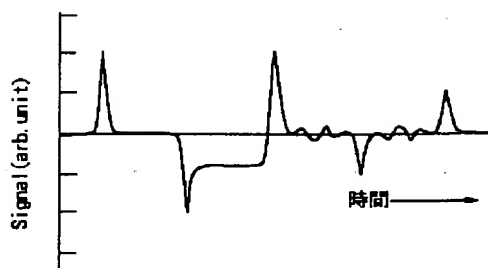
【図 2 9】



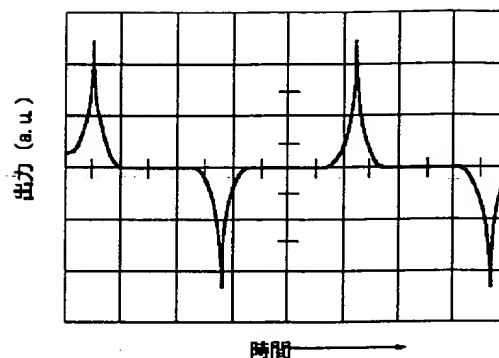
【図 3 0】



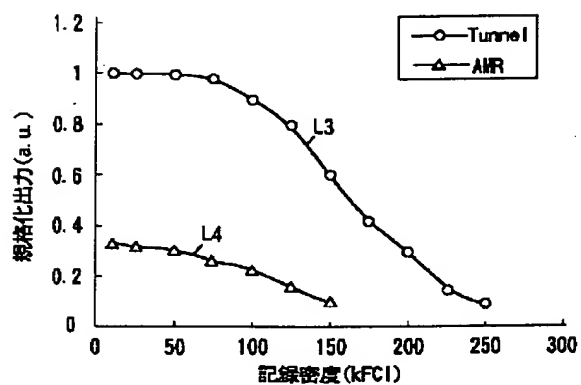
【図31】



【図32】



【図33】



フロントページの続き

(72)発明者 太田 学  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

(72)発明者 佐野 正志  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内